

# ПЕРСПЕКТИВЫ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В.С. Чекушин<sup>1</sup>, Н.В. Олейникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС», г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Красноярский институт цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «СФУ», г. Красноярск, Россия

*Рассмотрены пути коммерциализации научно-технической продукции, представленной пакетом технологий переработки богатых сульфидных свинцовых, медных и никелевых концентратов с получением металлов, пригодных для рафинирования, а также конверсии серы с получением каустика, возвращаемого в технологию.*

Современные технологические процессы производства тяжелых цветных металлов представляются полностью исчерпавшими себя с точки зрения эффективного энергопотребления и снижения воздействия на экологическую систему. Последствия от реализации металлургических технологий в значительной степени спровоцировали обострение глобальных проблем. Нарастание потребления минерального сырья и его переработка в рыночно пригодную продукцию (металлы), опирается на бесперспективные технологии. Кризис в развитии альтернативных технологических направлений очевиден.

Основной задачей металлургии является получение металлов из химических соединений минеральной или технологической природы. При этом промышленная металлизация ориентирована на восстановление из кислородных соединений с использованием углерод- и серосодержащих реагентов. На современном этапе производства тяжелых цветных металлов базовым природным источником является сульфидное минеральное сырье. Поэтому предусмотрена конверсия природных и технологических сульфидов металлов в кислородные аналоги, направляемые в восстановительный передел. Образующиеся газообразные серо- и углеродсодержащие кислородные соединения являются основными источниками загрязнения окружающей среды. Огромное энергопотребление, обусловленное осуществлением высокотемпературных процессов (1100–1600 °С) с участием значительных материальных потоков, не сопровождается эффективной утилизацией тепла. Рыночная ликвидность газообразных промпродуктов технологий ничтожна.

Результатом наших многолетних исследований является разработка качественно нового подхода к решению задач металлизации тяжелых цветных металлов непосредственно из сульфидных ассоциаций с использованием в качестве электронодонора при восстановлении металлов собственной сульфидной серы в условиях приемлемых для технологической реализации. При этом установлено, что образование металлических фаз (Pb, Cu, Ni, Co) из сульфидов осуществимо в условиях температур 550–700 °С с накоплением серосодержащих продуктов в виде сульфата натрия в щелочном плаве, выполняющем роль технологической среды. Восстановительные процессы сопровождаются сравнительно низкими энергозатратами при отсутствии газообразных выделений (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>).

В этой связи, снижение затратности и экологической опасности производства тяжелых цветных металлов из сульфидного сырья базируется на двух положениях:

- получении при традиционном флотационном обогащении высококачественных концентратов, направляемых в металлургическое обогащение;

- восстановление металлов непосредственно из сульфидных соединений [1].

В результате многолетних исследований, проводимых в Красноярском институте цветных металлов, разработаны теоретические положения процессов низкотемпературного восстановления тяжелых цветных металлов (меди, никеля, кобальта, свинца, благородных металлов) непосредственно из сульфидных соединений с использованием в качестве восстановителя собственной сульфидной серы, которые стали основой для технологического процесса получения металлов из промышленных объектов – сульфидных концентратов обогащения и промпродуктов металлургического производства.

Формирование технологии восстановления тяжелых цветных металлов из соответствующих концентратов базируется на следующих положениях [1]:

- восстановление свинца, меди, никеля, кобальта, благородных металлов осуществляется непосредственно из сульфидных соединений и эффективно протекает при температурах 550–700 °С, то есть ниже температуры плавления исходных сульфидов и образующихся металлических фаз (исключением является свинец, температура плавления которого 327 °С);
- твердая фаза после восстановления металлов из концентратов является сложным по составу продуктом, состоящим из металлических компонентов, твердых химических соединений металлов, например, оксидов железа и пр.), в том числе, пустой породы;
- в целом продукты восстановительных процессов представлены твердой (расплавленной) составляющей и щелочным плавом, отличающиеся многокомпонентностью;
- щелочной плав, кроме свободной щелочи содержит сульфатные натриевые соединения.

Необычность восстановительной системы предопределила совокупность попутно решаемых проблем, из которых основными являются:

- выделение и утилизация сульфата натрия с получением используемого в технологии гидроксида натрия;
- использование приемов магнитной сепарации в расплавах с целью выделения магнитной составляющей образующихся никелевых продуктов;
- разработки конструкций восстановительных агрегатов с учетом специфики свойств получаемых металлических фаз.

Анализ экспериментальных исследований позволил разработать единую блок-схему технологических процессов (рис. 1) [2].



Рис. 1 Блок-схема технологического процесса восстановления металлов из сульфидных соединений

Технологические предложения не имеют аналогов в отечественной и мировой практике, поэтому их промышленная реализация возможна при условии создания опытных производственных установок, моделирующих производственные процессы. Эксплуатация установок позволит подтвердить эффективность предлагаемых проектов, их реальную конкурентоспособность существующим производствам. Предлагаемый комплекс технологий по переработке медно-никелевых материалов ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» позволит рассматривать вопросы перемещения производственной площадки получения меди и никеля, а также их рафинирования в центральные районы Красноярского края, оставляя, соответственно, горно-обогатительную составляющую. В этом случае серосодержащие продукты, представляемые как удобрения, с минимумом затрат могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве. Накопленный нами опыт продвижения инновационных проектов непосредственно на предприятия не оказался положительным. Это согласуется с результатами инновационной деятельности не только в России, но и в развитых странах, в частности, Европы. Эффективность реализации инноваций возрастает, когда государство участвует в финансировании проектов.

Нами разработана схема коммерциализации научно-технической продукции с целью внедрения на рынок технологических услуг в России и за рубежом. Блок-схема коммерциализации приведена на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема коммерциализации научно-технической продукции

К научно-технической продукции (НТП) отнесены опытный технологический модуль (прототип технологии и оборудования для низкотемпературного восстановления цветных металлов из сульфидного сырья и их рафинирования, а также эскизные типовые проекты производств свинца, меди и никеля.

Были проведены технико-экономические сравнения производства свинца и меди с использованием предлагаемых нами процессов и по технологиям, реализуемым на работающих металлургических предприятиях [3–5]. Основные показатели по выходам продуктов процессов и извлечения в них металлов, а также структура себестоимости переделов приведены в табл. 1–4.

Таблица 1

**Извлечения (ε) меди в продукты процессов восстановления  
и выходы (w) продуктов (% от массы концентрата)**

Продукты и промпродукты технологии	НМЗ НГМК		Щелочная плавка	
	w, %	ε, %	w, %	ε, %
Штейн печи Ванюкова (расплавление концентрата)	95	99,1	---	---
Пыль печи Ванюкова (расплавление концентрата)	1	0,4	---	---
Шлак печи Ванюкова (расплавление концентрата)	12	0,5	---	---
Черновая медь	59,9	96,7	---	---
Конвертерный шлак (после промывок)	3,6	1,2	---	---
Конвертерная пыль	1,7	2,1	---	---
Металлизированный продукт щелочной плавки	---	---	75	100
Сквозное извлечение меди		96,2		100
Сера, присутствующая в концентрате в случае плавки – конвертирования, на 99,5 % переходит в газовую фазу. Газы в полном объеме выбрасываются в атмосферу без утилизации серы. В случае щелочной плавки вся сера переходит в товарный продукт технологии – сульфат натрия.				

Таблица 2

**Структура себестоимости 1 тонны черновой меди**

Статья затрат	НМЗ НГМК				Щелочной способ	
	с выбросом SO <sub>2</sub> в атмосферу		с утилизацией SO <sub>2</sub>			
	Руб.	%	Руб.	%	Руб.	%
Реагенты и материалы	1400	6,1	1700	6,4	13725	65,8
Амортизация основного оборудования	1750	7,6	1890	7,1	370,7	1,8
Оплата труда	7900	34,6	8100	30,4	2800	13,4
Энергозатраты	11337,9	49,6	14845,5	55,7	3953,4	19,0
Компенсация загрязнения окружающей среды	473,8	2,1	94,9	0,4	0	0
Всего	22861,7	100	26630,4	100	20849,1	100

Таблица 3

**Извлечения (ε) свинца, попутных металлов и серы в продукты процессов  
восстановления и рафинирования; выходы (w) продуктов (% от массы концентрата)**

Продукты и промпродукты технологии	Технология КИВЦЭТ-КФ – огневое рафинирование		Технология Ausmelt – электроплавка – огневое рафинирование		Щелочная плавка – электролитическое рафинирование	
	w, %	ε, %	w, %	ε, %	w, %	ε, %
<b>Свинец</b>						
Свинец рафинированный	58,3	97,2	58,1	96,9	59,9	99,8
Шлак отвалный (после фьюмингования)	34,5	0,04	34,5	0,299*	---	---
Цинковые возгоны	13,2	2,8	13,2	2,8	---	---
Цинксодержащие шламы	---	---	---	---	14	0,2
Газы «в трубу»**	280	0,001	280	0,001	---	---
<b>Сера (ε – извлечение серы, %)</b>						
Газы сернистые в СКЦ	81,5	91,6	214,2	91,6	---	---
Газы «в трубу»***	280	8,4	280	8,4	---	---
Сульфат натрия	---	---	---	---	63,9	100
<b>Серебро (ε – извлечение серебра, %)</b>						
Рафинированный свинец	58,3	0,52	58,1	0,52	59,9	0,0001
Цинковые возгоны	13,2	2,41	13,2	2,41	---	---
Серебряный сплав	0,044	97,07	0,044	97,07	0,045	100
* входят потери при транспортировке шлаков						
** с учетом фьюмингования						
*** с учетом серы, переходящей в черновой свинец и промпродукты рафинирования						

Таблица 4

**Структура себестоимости 1 тонны рафинированного свинца**

Статья затрат	Технология КИВЦЭТ-КФ – огневое рафинирование		Технология Ausmelt – электроплавка – огневое рафинирование		Щелочная плавка – электролитическое рафинирование	
	Руб.	%	Руб.	%	Руб.	%
Реагенты и материалы	2970,0	17,7	2970,0	17,5	6800,0	46,8
Амортизация основного оборудования	950,0	5,7	1020,0	6,0	237,5	1,6
Оплата труда	6230	37,2	6230	36,8	2800	19,3
Энергозатраты	6615	39,4	6705,0	39,7	4695	32,3
Всего	16765	100	16925	100	14532,5	100

Анализ данных табл. 1–4 позволяет заключить, что при возрастании расходов на реагенты, в технологии щелочной плавки существенно снижаются статьи расходов, связанных с обслуживанием основного и вспомогательного оборудования, а также с оплатой труда и энергозатратами, что в целом позволяет снизить эксплуатационные затраты примерно на 10 %.

Результат рекламирования научно-технической продукции состоит в коммерциализации ее в виде технических проектов соответствующих предприятий. В задачу разработчиков входит привлечение внимания инвесторов в совокупности с администрациями регионов к проблемам переработки сырья с получением высококачественных металлов при решении вопроса на качественно новом технологическом уровне. Предлагается дифференцированный подход к потребителям научно-технической продукции, которые разделены на четыре целевые группы.

Первая группа – предприятия мелкомасштабного бизнеса, занятые переработкой вторичных ресурсов.

Вторая группа – инвесторы на уровне мелкомасштабного бизнеса, планирующие создание производств по переработке вторичного сырья.

Третья группа – крупные горнодобывающие компании, связанные с производством и первичным металлургическим обогащением свинцового, медного и никелевого сырья.

Четвертая группа – крупные инвестиционные организации под патронажем региональных администраций, нацеленные на создание производств по глубокой переработке минерального и вторичного сырья.

### **Выводы**

1. Проанализирована блок-схема технологии получения металлических фаз (свинца, меди, никеля, кобальта) из сульфидных концентратов с использованием в качестве технологической среды для восстановительных реакций каустической соды.

2. Приводится сравнение технико-экономических сведений об эффективности предлагаемых процессов переработки медного и свинцового сырья.

3. Предложены пути коммерциализации научно-технической продукции для отечественных и зарубежных потребителей.

### **Литература**

1. Чекушин, В.С. Современные пирометаллургические технологии переработки сырья тяжелых цветных металлов / В.С. Чекушин, Н.В. Олейникова // Технология металлов. - 2007. - № 10. – с. 8 – 13.
2. Чекушин В.С. Технология низкотемпературного восстановления тяжелых цветных металлов / В.С. Чекушин, Н.В. Олейникова // Цветная металлургия – 2011, № 11. С 25 – 36.
3. Чекушин В.С. Щелочная плавка в процессах восстановления и экстракции тяжелых цветных металлов / В.С. Чекушин, Н.В. Олейникова // ISBN 978-5-903-293-12-4 – Красноярск: ООО «Поликом», 2011.– 331 с.
4. Чекушин В.С. Сравнительный анализ технологий производства меди из сульфидного сырья / В.С. Чекушин, Н.В. Олейникова // Технология металлов. - 2012, № 12. С. 3 – 12.
5. Чекушин В.С. Сравнительный анализ технологий производства свинца из сульфидного сырья // В.С. Чекушин, Н.В. Олейникова // Технология металлов. - 2013, № 1. С. 3 – 10.